

УДК 669.71:532.694:539.216

Гнилоскуренко С.В.¹, Бякова О.В.², Власов А.О.³, Кітранов Д.С.⁴,

Євіч Я.І.⁵, Цивіліцин В.Ю.⁶

¹ канд. техн. наук, старш. дослідник, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

² д-р техн. наук, пров. наук. співр., Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича НАН України, Київ

³ наук. співр., Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича НАН України, Київ

⁴ гол. механік, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича НАН України, Київ

⁵ канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співр., Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича НАН України, Київ

⁶ наук. співр., Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

ПОВЕДІНКА СПІНЕНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ СТИСНЕННЯ

Легкі металеві сплави є актуальними для інженерного застосування, зокрема за причини значного зменшення металоємності деталей, вузлів та конструкцій, їх ваги та собівартості. Натепер відомі новітні надлегкі матеріали, які можуть бути одержані введенням у рідкі металеві сплави великої кількості газової фази і швидкого охолодження такої газо-металевої суміші з утворенням будови типу твердої піни - численних комірок, заповнених газом, з металевими перетинками між ними. Найбільш широко досліджуються спінені сплави на основі алюмінію.

Такі сплави з комірковою будовою мають певні переваги перед суцільними матеріалами зокрема завдяки їх властивостям щодо поглинання енергії та винятковій комбінації легкої ваги і комплексу фізико-механічних властивостей [1]. При їх стисненні вони деформуються з утворенням довгої ділянки плато на графіку «напруження-деформація» та виявляють високі значення деформації майже при сталому навантаженні, в чому і проявляється їх здатність поглинати значну енергію. З урахуванням високої питомої жорсткості високопористі металеві матеріали є привабливими для створення елементів для поглинання енергії удару при автомобільних аваріях, застосування в наземних і морських транспортних засобах тощо.

У роботі проводили спінювання сплавів Al1Mg06Si (АД33, аналог сплаву 6061) і високоміцного сплаву Al6Zn2,3Mg (В95, аналог сплаву 7075) способом Alporas [2]. Використовували дешевий карбонат кальцію CaCO₃, як спінювач, замість дорогого гідриду титану TiH₂.

При уведенні добавок у рідкі сплави їх хімічний склад і мікроструктура

після затвердіння змінюються, що відображається і на механічних властивостях. Мікроструктура цих спінених алюмінієвих сплавів була вивчена у попередніх дослідженнях [3], а метою даної роботи було вивчення механічних властивостей спінених зразків при стисненні.

Їх досліджували при одноосьовому квазістатичному стисненні відповідно до стандарту ISO 13314: 2011 з використанням універсальної машини CERAM test System (ІПМ НАН України, Київ, Україна) потужністю 20 кН з постійною швидкістю траверси - швидкістю деформації від 10^{-3} с^{-1} до 10^{-2} с^{-1} .

Шляхом аналізу записаних кривих деформації було оцінено низку ключових механічних параметрів і приведено у відповідність із величиною пористості, θ , випробуваних зразків. Відносна щільність спінених зразків - відношення щільності суцільного матеріалу зразка ρ до цього показника спіненого зразка ρ_s вимірювалась шляхом зважування зразка з відомим об'ємом. Пористість визначалась з рівності $\theta \% = (1 - \rho/\rho_s) \times 100$. Були визначені такі показники ефективності, як структурна жорсткість, яка зазвичай пов'язана з модулем Юнга, а також напруження плато, σ_{pl} , і поглинання енергії W_{50} до 50 % деформації та W_{pl} до кінця плато деформації. На рисунку 1 наведено криві, отримані при стисканні спінених зразків.

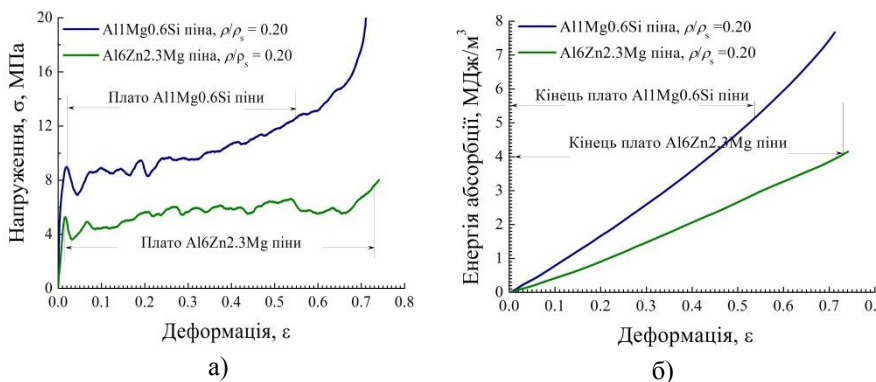


Рисунок 1 - Криві стиснення для спінених зразків, виготовлених зі сплавів Al1Mg0,6Si та Al6Zn2,3Mg в осях а) напруження-деформація та б) енергія абсорбції-деформація.

Форма записаних кривих напруження-деформації для обох типів піни загалом подібна для пружної/пластичної деформації спінених зразків із

закритими порами, однак деякі відмінності помітні в області плато. Зокрема, лише невелика кількість коливань видно на плато пластичної піни Al1Mg0,6Si , що свідчить про руйнування комірок через пружне прогинання та ущільнення перетинок комірок [1]. Це узгоджується з вищою швидкістю зміцнення піни Al1Mg0,6Si (перехід ділянки плато від горизонтальної до похилої зі зростання як напруження так і деформації) порівняно з піною Al6Zn2,3Mg , хоча відносна щільність, ρ/ρ_s , для обох типів пін однакова. Що стосується зразків на основі відносно пластичного сплаву Al1Mg0,6Si , закриті комірки, на які впливає напруга розтягуючої мембрани, що покриває їх із середини, спричиняє підвищення напруження плато [4].

На відміну від цього, виражені коливання плато деформації демонструє піна зі сплаву Al6Zn2,3Mg , що вказує на внесок крихких пошкоджень в глобальний колапс комірок. Крім того, плато деформації для піни зі сплаву Al6Zn2,3Mg довше порівняно з тим, що спостерігається для піни на основі відносно пластичного сплаву Al1Mg0,6Si .

Таким чином, можна зробити висновок, що механізм пошкодження та подальшого руйнування комірок в умовах стиснення значною мірою контролює показники міцності та структурної жорсткості спіненого матеріалу. Загалом руйнування комірок через пружне прогинання та ущільнення стінок комірок є показником для піни на основі відносно пластичного сплаву Al1Mg0,6Si , тоді як ущільнення стінок комірок, що містять крихкі евтектичні домени/надлишкові фази, безпосередньо сприяє геометричному колапсу комірки піни, виготовленої з Al6Zn2,3Mg сплаву. Результати переконливо доводять, що реакція піни на стиснення та поглинання нею енергії радикально визначаються механізмом колапсу комірок, який, у свою чергу залежить від природи структурних складових матеріалу стінок комірок.

Список використаних джерел

- [1] L. J. Gibson, M. F. Ashby, Cellular Solids: Structure and Properties, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [2] S. Akiyama, H. Ueno, K. Imagawa, A. Kitahara, S. Nagata, K. Morimoto, T. Nishikawa, M. Itoh, Foamed metal and method of producing same, European Patent 0 210 803, 1989 (1986).
- [3] С.В. Гнилокурченко, О.В. Бякова, А.О. Власов, Д.С. Кітранов. Мікроструктура спієних алюмінієвих сплавів. Матеріали XX Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія-2024», 28-30 травня, 2024 р., – Харків-Київ, С. 75-77.
- [4] M. F. Ashby, A. G. Evans, N. A. Fleck et al., Metal Foams: A Design Guide, Butterworth. USA, 2000.